

基于 RTOS 的廉价 10 kV 微机保护平台

马运亮¹, 高梅峰², 李晓玲²

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许昌供电公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 嵌入式实时操作系统 (Real-Time Operating System, RTOS) 以其实时性、可靠性、易维护性和易扩展性等诸多优点, 在工业控制领域中得到越来越广泛的应用。采用 TI 公司生产的 TMS320F2809DSP 处理器作为嵌入式数据处理主芯片, 在其周围扩展了简单的外围器件, 并移植了源码公开的 uC/OS-II 实时操作系统内核。在此软硬件基础上开发了功能完善、结构相对简单的低成本微机继电保护嵌入式系统平台, 并利用此平台开发完成了一系列 10 kV 微机继电保护装置。实践证明该平台性能可靠, 具有较强的实用性。

关键词: RTOS; 微机继电保护; 多任务操作系统; DSP; uC/OS-II

a cheap 10 kV microcomputer-based protection platform based on the RTOS

MA Yun-liang¹, GAO Mei-feng², LI Xiao-ling²

(1. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Electric Power Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Because of the real-time, high reliability, easy maintenance and easy expansibility, the real-time operating system (RTOS) is widely used in the area of industry control. DSP processor TMS320F2809 produced by TI is used as a flush bonding data processing chip, and around the chip some simple peripheral devices are extended, and the kernel of open code RTOS of uC/OS-II is transplanted. Based on the software and the hardware, the flush bonding platform of the microcomputer-based protector is developed. The platform has perfect function, low cost and relatively simple structure. Using the platform, a series of 10 kV microcomputer-based relay protectors is designed. The platform is proved dependable and practical.

Key words: RTOS; microcomputer relay protection; multitasking operating system; DSP; uC/OS-II

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-0119-04

0 引言

微机继电保护以其保护精度高、运算速度快、可靠性高、运行维护方便、组网简单经济等优势, 在电力系统保护中得到越来越广泛的应用。在继电保护嵌入式系统的设计中, 实时操作系统 (Real-Time Operating System, RTOS) 以其实时性、可靠性、易维护性和易扩展性等诸多优点, 受到越来越多的重视, 被更多的设计者所采用。

目前电力系统应用于 35 kV 及以上电压等级的微机保护产品, 硬件资源比较丰富, 主处理器多采用运算速度高的 MCU 或浮点型 DSP, 同时扩展了如 ADC、CPLD 等外围器件, 软件一般采用实时操作系统, 而且多为商用实时操作系统, 因而成本比较高。应用于 10 kV 及以下电压等级的微机保护产品, 考虑到成本的影响, 处理器多采用 16 位或 32 位单片机, 外围器件扩展也很有限, 软件采用的多

为前后台系统, 这存在着硬件资源不足、功能过于简单、开发平台不完善、扩展维护不方便等很多不足之处。

DSP 相对于单片机是一种硬件资源丰富、功能强大、开发环境及相应开发平台先进的微处理器芯片, 基于 DSP 开发的继电保护产品的性能有很大提高。本文选用适合工业控制的 DSP 器件作为主控制芯片, 简单扩展了外围器件, 搭建了成本较低的 10 kV 微机继电保护硬件平台, 在此平台上移植了内核免费的实时操作系统, 并利用此平台开发了一系列微机继电保护装置。

1 系统硬件结构

1.1 TMS320F2809

选用 TI 公司生产的 TMS320F2809 高性能 DSP 控制器作为嵌入式数据处理芯片, 最高运行速度达到了 100 MHz, 能满足继电保护实时性的要求,

TMS320F2809 片内具有 36 kB 静态 RAM 数据存储器和 256 kBFLASH 程序存储器，总线不出芯片，抗干扰能力强，能满足工业现场的需求。内嵌 16 路 12 位高精度 ADC 通道，单通道转换时间 80 ns，完全能满足 10 kV 微机继电保护对模拟量采样精度、实时性和采样通道数量的要求，TMS320F2809 还具有多组 CAN，IIC，UART 和 SPI 通信接口和高分辨率的 PWM 输出通道，可进行多种外围接口扩展。

1.2 FM31256

FM31256 是由 Ramtron 公司推出的一种基于 IIC 总线、采用铁电体技术的多功能存储芯片。该器件除了具备 32 kB 非易失存储器 (FRAM) 外，还具有实时时钟 (RTC)、低电压复位、看门狗计数器 (WDT)、非易失性事件计数器、可锁定的串行数字标识等多种功能。与其他非易失性存储器相比，该器件具有读写速度快、功耗低、擦写使用寿命长等优点。一片 FM31256 即可完成看门狗、非易失存储器、实时时钟、电压检测等多项功能。

1.3 硬件系统构架

硬件系统的构架如图 1 所示。

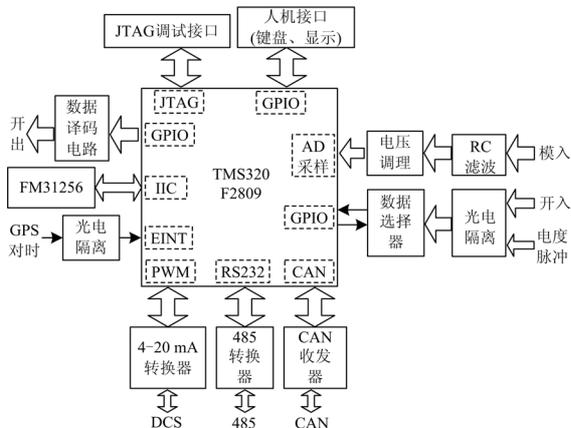


图 1 系统硬件结构示意图

Fig.1 Structural diagram of system hardware

本硬件系统平台采用 TMS320F2809 作为核心处理器，通过 IIC 接口扩展了一片 FM31256 器件，实现了非易失性存储器、实时时钟、看门狗、电源监视等多项功能；模拟量输入使用 TMS320F2809 的内部 ADC 进行采样，省去了外扩 ADC 器件；显示部分使用 128×64 大屏 LCD 液晶和多个信号指示灯；由于 TMS320F2809 可用 GPIO 有限，开关量输入部分采用了数据选择器，控制量输出部分采用了数据译码器，对 IO 口进行了扩展，另外所有外部输入都采用了隔离技术，提高了抗干扰性能。

硬件平台可实现的功能包括：液晶显示，键盘

操作，信号灯指示，16 路模拟量输入（包括 1 路 ADC 自检输入），20 路开关量输入，16 路控制量输出，2 路 DCS 输出，1 路 GPS 对时输入，1 路 485 通信接口，1 路 CAN 通信接口，这样的硬件配置可满足 10 kV 微机继电保护系统的需求。

2 系统软件结构

2.1 RTOS 选择

目前市场上可供选择的商用实时内核很多，如 VxWorks、PSOS、Nucleus 等，功能非常丰富，并且有良好的技术支持。但对于类似 10 kV 微机继电保护这样的中小型嵌入式应用系统来说，商用实时内核成本太高，采用免费内核无疑是最好的选择。最著名的免费实时操作系统内核是 Linux，而且有专门针对嵌入式产品的两个精简版 uClinux 和 RTlinux，但需要较大的程序内存，对系统的硬件配置要求较高。uC/OS-II 也是一个免费的源代码完全开放的实时嵌入式内核，其 V2.52 版本通过了美国航空航天管理局 (FAA) 的安全认证。uC/OS-II 提供了实时系统所需的基本功能，它内核小巧，实时性良好，适用于实时性要求较高的中小型系统，由于源代码开放，用户可针对自己的硬件进行代码优化和内核功能的裁减，以获得更好的性能。

2.2 内核移植

uC/OS-II 是一个可移植、可裁减、可固化的占先式实时多任务内核，大部分代码用 ANSIC 语言编写，小部分与硬件有关的代码用汇编编写，便于在不同架构的微处理器上移植使用。uC/OS-II 内核可以分为任务管理、任务间通信、内存管理、时间管理等几个独立的部分，它的许多功能都是可配置的，可以根据应用的需要对操作系统进行裁减。uC/OS-II 是占先式实时内核，它总是运行在就绪条件下优先级最高的任务。uC/OS-II 可以管理多达 64 个任务（系统占用 8 个，用户可创建 56 个），任务不支持时间片，所以赋予每个任务的优先级必须不同。每个任务都有自己独立的堆栈，可以更合理地利用内存空间。uC/OS-II 中的任务可以是一个无限的循环，也可以在执行后被删除掉，任务在休眠、就绪、运行、等待和挂起这几个状态之间进行切换。uC/OS-II 要求用户提供时钟节拍中断来实现延时和超时控制等功能，时钟节拍的频率由用户的应用程序决定，节拍频率越高，任务的实时性就越好，系统的负荷相应就越重。uC/OS-II 中提供三种用于数据共享和任务通信的方法：信号量、邮箱和消息队列。一个任务或者中断服务子程序可以通过事件控制块向另外的任务发信号；一个任务可以等待另一

个任务或中断服务子程序给它发送信号；或者是多个任务等待同一个信号的发生，在这种情况下，优先级最高的任务将得到这一信号并进入就绪状态准备执行。

uC/OS-II 内核的移植相对比较简单，根据 uC/OS-II 的要求，只需要修改其中三个文件：OS_CPU.H (C 语言头文件)、OS_CPU_C.C (C 程序源文件) 和 OS_CPU_A.ASM (汇编程序源文件)。

(1) OS_CPU.H 文件的修改

①用 typedef 定义与编译器相关的数据类型

由于不同的微处理器的数据类型有不同的字长，在 uC/OS-II 代码中采用 INT8U、INT16U、INT32U、FP32 等直观又可移植的数据类型来代换相应的数据类型。

②修改开关中断的两个宏定义

```
#define OS_ENTER_CRITICAL () asm (" SETC INTM ")
```

```
/* Disable interrupts */
```

```
#define OS_EXIT_CRITICAL () asm (" CLRC INTM ")
```

```
/* Enable interrupts */
```

③定义堆栈增长的方向

```
#define OS_STK_GROWTH 0
```

```
/*Stack grows from low to high memory*/
```

④定义任务切换软中断函数

```
#define OS_TASK_SW() asm (" TRAP 31 ")
```

```
/* Interrupt vector #31 used for context switch */
```

(2) OS_CPU_C.C 文件的修改

修改任务堆栈初始化函数 OSTaskStkInit ()，使任务刚建立时的任务堆栈结构如图 2 所示。函数 OSTaskStkInit () 是由函数 OSTaskCreate () 或 OSTaskCreateExt () 调用，用来初始化任务堆栈。

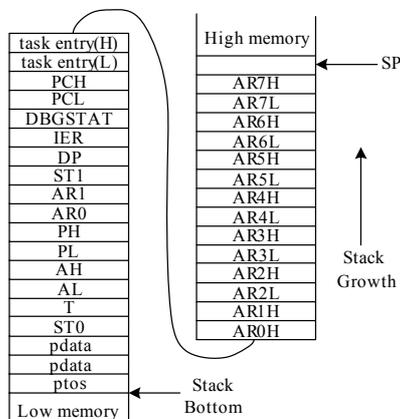


图 2 任务堆栈结构图

Fig.2 Diagram of task stack frame

经初始化后的任务堆栈应该跟发生过一次中断后任务的堆栈结构一样。TMS320F2809 在发生中断后，自动保存的寄存器有：ST0、T、AL、AH、PL、PH、AR0、AR1、ST1、DP、IER、DBGSTAT、PCL、PCH，为了保存全部现场，还需要保存寄存器 AR0H、AR1H、XAR2~XAR7。

(3) OS_CPU_A.ASM 文件的修改

OSStartHighRdy () 进入多任务环境时，运行就绪态的优先级最高的任务；OSCtxSw () 任务级任务切换函数，将处理器的寄存器保存到堆栈中后，将任务指针指向要恢复运行的任务，复制新任务的优先级，得到新任务的堆栈指针，恢复即将运行任务的寄存器；OSIntCtxSw () 中断级任务切换函数，在 ISR 中执行任务的切换；OSTickISR () 时钟节拍中断函数，提供系统时钟节拍服务。这四个函数涉及到出栈和入栈操作，需要用汇编语言编写。

2.3 任务分配

微机继电保护除要完成模拟量采集计算、开关量采集、故障判断、出口驱动、信号处理等与保护功能相关的基本的任务外，还要完成自检、通信处理、液晶显示、键盘操作等多项任务，合理地划分任务将会大大提高程序的执行效率、减少任务切换的时间消耗，同时使程序具有良好的结构和可读性，便于维护升级。根据系统所要实现的功能，将任务进行如下分配。

(1) AD 采样中断

AD 采样 (模拟量采集) 是对时间要求最精确的任务，必须在规定的对时间间隔对模拟量进行采样，根据 uC/OS-II 中任务切换的原理和系统中断的关系，即使最高优先级的任务也要等到中断完成之后才能被执行，而中断任务的执行频率和执行时间又是不确定的，所以要满足 AD 采样对时间的要求，必须把 AD 采样任务放到定时中断里，而且这个中断还不能被其它中断所打断，所以必须为最高优先级的中断。

(2) 通信 (485、CAN) 中断

通信任务中的发送数据采用 DMA 方式，接收数据采用接收中断方式而不采用查询方式，可以提高 CPU 的利用率。

(3) GPS 对时中断

GPS 秒脉冲对时功能采用外部中断，这样可以及时响应对时命令，提高对时精度。

(4) 系统任务 1

开关量采集、数据预处理、保护计算判别、出口驱动、频率计算等任务分为一类。这类任务要求实时性、可靠性相对较高，因此设定为 uC/OS-II 任

务中优先级最高的任务。

(5) 系统任务 2

随着保护智能化的发展,对通信数据的实时性要求越来越高,所以把通信数据处理任务单独分为一类,除了任务 1 中保护基本功能的硬实时任务之外,这类任务要求能够尽可能快地完成。

(6) 系统任务 3

测量计算、动作记录的存储、录波数据的存储等任务分为一类,这类任务对实时性要求相对低一些,所以分配的优先级较低。

(7) 系统任务 4

液晶显示、键盘操作、参数修改、模式切换、信号复归等人机对话任务分为一类,这类任务对实时性要求最低,所以分配的优先级也最低。

2.4 软件结构

按照 2.3 节任务分配的方法,软件结构设计如图 3 所示。

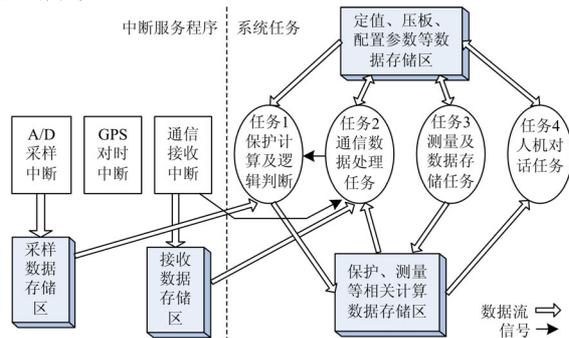


图 3 软件结构示意图

Fig.3 Structural diagram of system software

软件结构主要分为中断服务程序和系统任务两大部分,中断服务程序处理中断任务,处理结果通过全局变量或发送信号的方式传送给系统任务,系统任务通过优先级任务调度程序切换执行,任务之间通过全局变量、信号量或消息队列等方式进行数据交换,中断任务和系统任务互相协作,共同完成

继电保护的各项工作。

3 结论

本文将 RTOS 移植到 DSP 硬件系统中,设计了微机继电保护嵌入式操作系统平台,利用 RTOS 可以简化多任务程序设计,满足多个任务的时间要求,大大降低了开发难度,轻松实现前后台系统难以完成的任务。现已利用这个平台开发了线路保护、厂用变保护、电动机保护、电容器保护、电压互感器监控和备用电源自投装置,现场运行情况良好,实践证明此平台是可靠的、可行的。

参考文献

[1] Labrosse Jean J. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ [M]. 邵贝贝,译.北京:北京航空航天大学出版社,2003.
Labrosse Jean J. Embedded real-time operating system $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ [M]. SHAO Bei-bei, trans. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2003.

[2] 张举. 微机继电保护原理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
ZHANG Ju. Theory of microcomputer relay protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 2004.

[3] 李娜,刘晓文. 基于 ARM 的继电保护装置开发与研究[J]. 电气应用,2005,24(7):44-46,54.

[4] TMS320F2809 DSPs data manual[Z]. TexasInstruments 2007.

收稿日期:2009-09-10

作者简介:

马运亮(1980-),男,本科,工程师,从事电力系统微机继电保护产品软硬件的设计开发工作;E-mail: mayunliang@xjgc.com

高梅峰(1979-),女,本科,技师,助理工程师,从事电力系统的运行监测及计量设备检定方面的工作;

李晓玲(1973-),女,技师,助理工程师,从事电力系统计量设备检定方面的工作。

(上接第 115 页 continued from page 115)

JU Ping, JIN Yan, WU Feng, et al. Studies on classification and synthesis of composite dynamic loads[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(1): 64-68.

[15] 周玉光. 电力系统动态负荷建模与负荷动静比例的提取[D]. 上海:上海交通大学,2006.

ZHOU Yu-guang. Power system dynamic load modeling

and acquisition of dynamic-static percentage[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2006.

收稿日期:2009-09-15; 修回日期:2009-11-12

作者简介:

杨浩(1960-),男,副教授,主要研究方向为电力系统信号处理、保护与控制;

张磊(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统负荷建模。E-mail: cqzhanglei@163.com